

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ **Patentschrift**
⑯ **DE 196 10 253 C 2**

⑯ Int. Cl. 6:
H 01 J 37/34
H 05 H 1/46
C 23 C 14/35

⑯ Aktenzeichen: 196 10 253,7-33
⑯ Anmeldetag: 15. 3. 96
⑯ Offenlegungstag: 9. 10. 97
⑯ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 14. 1. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, 80636 München, DE

⑯ Erfinder:

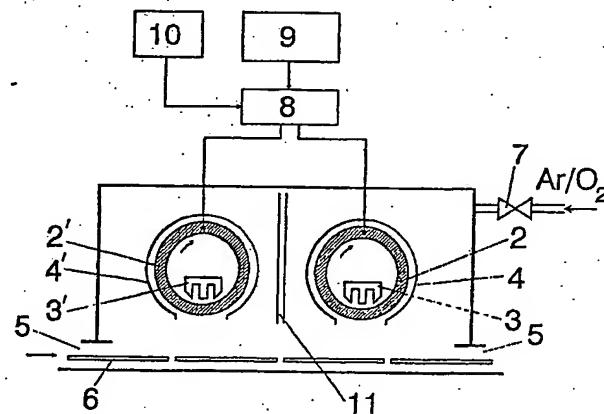
Kirchhoff, Volker, 01324 Dresden, DE; Schmidt,
Horst, 01139 Dresden, DE; Kopte, Torsten, Dr.,
01157 Dresden, DE; Winkler, Torsten, 01454
Radeberg, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 44 18 906 A1
DE 42 37 517 A1
DE 41 38 794 A1
DE 41 38 793 A1
DE 32 29 969 A1
DE 27 07 144 A1
DE 69 1 04 13 1 T2
DD 2 94 511
DD 2 52 205
DD 1 50 909
US 51 58 660
EP 00 70 899 B1
EP 07 01 270 A1
EP 05 89 699 A1
WO 92 01 081

⑯ Zerstäubungseinrichtung

⑯ Zerstäubungseinrichtung zum Beschichten von Substraten nach dem Magnetronprinzip durch eine Niederdruck-Glimmentladung, bestehend aus einer evakuierbaren Beschichtungskammer mit mindestens zwei Zerstäubungsquellen, die jeweils aus einer rohrförmig ausgebildeten, um ihre Längsachse drehbaren Elektrode und einem in der Elektrode angeordneten, sich relativ zu der Elektrode bewegenden Magnetsystem mit zugehörigen Polschuhen bestehen, und mit Mitteln zur Bewegung der zu beschichtenden Substrate im gleichen Abstand zu den Elektroden durch den Zerstäubungsbereich, und aus einer steuerbaren Stromversorgungseinrichtung, einer Evakuierungseinrichtung, einem Gaseinlaß und Antriebsmitteln für die Relativbewegung der Elektroden und der Magnetsysteme, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromversorgungseinrichtung (8; 9; 8; 16) die Elektroden (2, 2') im gegenseitigen Wechsel als zerstäubende Katode und Anode schaltet, daß zwischen den Elektroden (2, 2') eine Streufeldblende (11) mit floatendem Potential zur Abschirmung der Elektroden (2, 2'), angeordnet ist und daß diese Streufeldblende (11) aus zwei voneinander isolierten Teilen besteht.



DE 196 10 253 C 2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Zerstäubungseinrichtung nach dem Oberbegriff des Patentanspruch 1. Eine solche Zerstäubungseinrichtung ist aus der Europäischen Offenlegungsschrift 0 701 270 bekannt.

Es sind eine Vielzahl von Zerstäubungseinrichtungen nach dem Magnetronprinzip bekannt. Sie arbeiten alle nach einem Grundprinzip, indem ein ebenes Target als Katode zerstäubt wird. Unter diesem Target ist ein Magnetsystem angeordnet, dessen Kraftlinien tunnelförmig aus dem Target austreten und dadurch in diesem Bereich die Teilchen abgestäubt werden. Es sind sogenannte Planarmagnetrons. Das Target besteht meist aus einem Stück und ist rechteckig, kreis- oder ringförmig oder auch mehrteilig. Dieser Targetgeometrie ist das Magnetsystem angepaßt. Entsprechend dem Prozeß und den gewünschten Schichten wird neben dem Prozeßgas ein Reaktivgas zugeführt. Die nach dem Grundprinzip arbeitenden Einrichtungen haben den Nachteil, daß dadurch, daß das Abstäuben von Teilchen nur in einem eng begrenzten linienförmigen Erosions-Bereich der Targetoberfläche erfolgt, der Ausnutzungsgrad an Targetmaterial sehr gering ist und noch unter 30% liegt. Dadurch ist ein öfterer Wechsel der Targets erforderlich und die Prozeßdauer begrenzt. Bei Durchlaufanlagen ist eine Vakuumunterbrechung unvermeidbar.

Um die Targetausnutzung zu verbessern, ist die Geometrie der Targets und Magnetsysteme so gestaltet worden, daß ein relativ großer Teil der Fläche abgestäubt wird. Dazu sind beispielsweise die Targets dreieckförmig ausgebildet (DD 150 909). Selbst dadurch ist eine Targetausnutzung von nur 50% möglich. Außerdem ist mit derartigen Einrichtungen – auch bei optimaler Kühlung des Targets – die technisch-physikalische Grenze erreicht, und damit Leistungsdichte und Beschichtungsrate nicht beliebig zu steigern. Die Fachwelt hat in vielen Varianten der Ausgestaltung der Einrichtungen eine gewisse Erhöhung der Produktivität derartiger Einrichtungen erreicht, aber nicht die Targetausnutzung wesentlich erhöht.

Zur Erhöhung der Substratausnutzung sind sog. Rotable-Magnetrons bzw. Rohrmagnetrons bekannt, die zwischen dem Target und Substrat eine Relativbewegung ausführen. So ist eine bevorzugte Ausführung der Zerstäubungseinrichtung, das Target als Zylinder auszubilden und das Magnetsystem in dem Target anzurichten. Die Feldlinien greifen durch das Rohr und verlaufen entlang der Rohrachse. Eine Anode umgibt das rohrförmige Target mit Ausnahme des Ringspaltbereiches, in dem das Abstäuben der Targetoberfläche durch die Ausbildung einer Gasentladung erfolgt (DE 32 29 969 A1; EP 0 070 899 B1; DE 27 07 144). Obwohl bei dieser Ausführung eine Targetausnutzung von ca 80% erreicht wird, besteht der Nachteil, daß die Anode beschichtet wird. Besonders bei der Abscheidung von isolierenden Schichten wird damit die Standzeit nicht mehr durch die Targetlebensdauer, sondern durch die Anode bestimmt.

Es ist auch bekannt, mehrere rohrförmige Targets in einer Einrichtung rotieren zu lassen und ein Magnetsystem in jedem Rohr anzurichten (WO 92/01081) oder das Magnetsystem außerhalb der rotierenden Targets anzurichten (EP 0 589 699 A1; US 5,158,660). Die Targets sind aus gleichem oder unterschiedlichem Material und als Katode gepolt. Diese Einrichtungen haben den Nachteil, daß durch die Gleichstrombetriebsweise Überschläge – d. h. Bogenentladungen – auftreten, und damit die Schichtqualität entscheidend verschlechtert wird. Bekannte Schaltungen zur Erkennung und Verhinderung von Bogenentladungen sind sehr aufwendig und bieten keine hohe Sicherheit. Das Problem der Anodenstandzeit wird damit auch nicht gelöst.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Zerstäubungseinrichtung zu schaffen, welche das Targetmaterial über lange Zeit gleichbleibend abstäubt und damit ein hoher Ausnutzungsgrad erreichbar ist. Die Beschichtungsrate soll hoch sein. Es soll weiterhin das Entstehen von Bögen verhindert werden und der Zerstäubungsprozeß über lange Zeit stabil sein. Die Einrichtung soll zur Beschichtung von elektrisch leitenden und nichtleitenden Substraten, vorzugsweise zur plasmagestützten sowie zur reaktiven Beschichtung, geeignet sein. Die Betriebszeit der Beschichtungseinrichtung soll nicht durch die Beschichtung der Anode begrenzt werden.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen nach dem Anspruch 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind 15 in den Ansprüchen 2 bis 18 beschrieben.

Ein wesentliches Merkmal ist, daß zwischen den Elektroden eine Streublende isoliert angeordnet ist, um diese gegen Bedämpfung zu schützen. Das Potential ist floatend. Diese Streublende ist zweckmäßig aus zwei voneinander isolierten 20 Teilen, so daß sich dazwischen ein plasmafreier Raum bildet, der Bogenentladungen von Elektrode zur Streufeldblende unterbindet.

Die erfindungsgemäße Zerstäubungseinrichtung besteht aus mindestens zwei um ihre Längsachse rotierenden Rohren als Elektroden. In jedem Rohr ist ein Magnetsystem angeordnet, dessen Feldlinien aus der Oberfläche des Rohres austreten. Dieses an sich bekannte Prinzip der rotierenden Rohre aus Zerstäubungsmaterial unterscheidet sich jedoch von den bekannten Rohrmagnetrons dadurch, daß die Rohre nicht an Katodenpotential gelegt sind, sondern daß sie im Wechsel als Katode und Anode geschaltet werden. D. h. es entsteht eine Glimmentladung jeweils im Wechsel zwischen beiden Elektroden. Die zugehörige Stromversorgung ist derart ausgebildet, daß sie ständig die Polarität umschaltet, was 25 im einfachsten Falle mittels einer Wechselstromquelle möglich ist oder durch eine entsprechend umschaltbare Gleichstromquelle. Die Pulsfrequenz, d. h. die Frequenz des Wechselstromes oder die Frequenz der Gleichstrompulse, wird durch bekannte elektronische Mittel so eingestellt, daß sie 30 um den Faktor ca. 100 größer ist als die Drehzahl der Elektroden. Dieser Unterschied der Frequenzen ist eine Voraussetzung für die Funktion des Prinzips, damit die jeweils freigesputzte Fläche den anodenwirksamen Bereich während der Dauer einer Halbwelle nicht verläßt. Mit dieser Zerstäubungseinrichtung wird das gepulste Zerstäuben ausgeführt, bei dem vor dem Umschlagen der Glimmentladung in eine Bogenentladung der Beschichtungsprozeß durch eine Regenerierungsphase unterbrochen wird, so daß die Qualität der 35 aufgestäubten Schicht nicht negativ beeinflußt wird.

Überraschenderweise bringt die Kombination des Prinzips der rotierenden Targets, die entgegen der bekannten rotierenden Magnetrons nicht als Katode geschaltet sind, mit dem gepulsten Zerstäuben durch Gleich- oder Wechselstrom, der an beide Elektroden im Wechsel geschaltet ist, eine Lösung der Aufgabe auf apparativ einfache Weise. Es werden die bisher mit großem Aufwand erreichten guten Ergebnisse bezüglich Schichteigenschaften und Wirtschaftlichkeit der Einrichtung noch übertroffen, die von der Fachwelt bisher realisiert wurden. Die Einrichtung hat noch den Vorteil, daß sie sehr erweiterungsfähig und prozeßvariabel ist. So ist es möglich, diese so auszustalten, daß sie für jede Art von Substratbeschichtung bezüglich Material und Beschichtungsmaterial einschließlich Legierungen geeignet ist. Die Substrate können an zwei sich gegenüberliegenden Seiten vorbeigeführt werden. Es ist auch relative Betriebsweise möglich. D. h. es sind alle Verfahrensvarianten zur Beschichtung von Substraten durch Aufstäuben in der erfindungsgemäßen Einrichtung auszuüben, indem die Einrich-

tung mit einfachen bekannten Mitteln ausgerüstet werden kann.

An zwei Ausführungsbeispielen wird die Erfindung näher erläutert.

In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

Fig. 1: eine Zerstäubungseinrichtung zum Beschichten von ebenen Substraten mit einer OXidschicht,

Fig. 2: eine Zerstäubungseinrichtung zum Beschichten von Kunststoffband mit einer Legierungsschicht

Mit der Zerstäubungseinrichtung gemäß Fig. 1 werden ebene Substrate aus Glas mit Aluminiumoxid beschichtet.

In einer Vakuumkammer 1 sind zwei wassergekühlte Elektroden 2; 2' aus Al als Rohre nebeneinander angeordnet. (Der Antrieb ist nicht gezeichnet.) In den Elektroden 2; 2' sind bekannte Magnetsysteme 3; 3' feststehend angeordnet. Um die Elektroden 2; 2' befinden sich Dunkelfeldabschirmungen 4; 4', die bewirken, daß keine Nebenentladungen auf der Elektrodooberfläche brennen und daß die abgestäubten Teilchen gezielt auf die durch die Vakuumkammer 1 bewegten, über Schleusen 5 ein- und ausgebrachten Substrate 6, gelangen. Das Prozeßgas Ar und Reaktivgas O₂ wird über den geregelten Gaseinlaß 7 in die Vakuumkammer 1 eingebracht. Die beiden Elektroden 2; 2' sind über eine an sich bekannte Schalteinheit 8 an eine DC-Stromversorgung 9 angeschlossen, so daß sie wechselweise Anode und Katode sind. In bekannter Weise wird mittels in der Vakuumkammer 1 angeordneter Sensoren der Plasmazustand in situ gemessen und das gewonnene Signal einer üblichen Elektronikeinheit 10 zugeführt und in dieser mit einem experimentell ermittelten Wert verglichen und der Prozeß gesteuert. Damit werden die Umschaltzeiten von Katoden- auf Anodenpotential ermittelt. Arbeitet beispielsweise die Elektrode 2 als Anode, werden die Potentialflächen des Plasmaraumes und die Elektrode 2' selbst mit zusätzlicher Unterstützung des umgepolten Plasmas regeneriert. Die Elektronikeinheit 10 ermittelt den Zeitpunkt des Umschaltens der Elektrode 2 auf Anodenpotential und die Elektrode 2' wird von Anoden- auf Katodenpotential umgeschaltet.

Zwischen den beiden Elektroden 2; 2' ist eine Streufeldblende 11 angeordnet, die in ihren Abmessungen so gewählt ist, daß die jeweils als Anode dienende Elektrode 2; 2' nicht bedämpft werden kann. Um auch zu verhindern, daß Überschläge - d. h. Bogenentladungen - von den Elektroden 2; 2' nach der Streufeldblende 11 auftreten, besteht die Streufeldblende 11 aus zwei elektrisch voneinander isolierten Teilen 45 und besitzt floatendes Potential. Somit wird ein plasmafreier Raum geschaffen, der der Reduzierung der Überschläge dient.

Durch diese Prozeßführung ergeben sich unterschiedliche Beschichtungszeiten mit den Elektroden 2 und 2', die sonst zu Inhomogenitäten der aufgebrachten Schichten führen würden. Durch die Relativbewegung zwischen den als Target im Wechsel abstäubenden Elektroden 2; 2' erfolgt ein Ausgleich, und es bildet sich eine Dampfwolke, die sich über dem Substrat 6 ausbreitet und eine homogene Schicht 55 erzeugt.

In der Zerstäubungseinrichtung gem. Fig. 2, die als Char- genanlage ausgebildet ist, wird ein Kunststoffband mit SiO₂ beschichtet. In der Vakuumkammer 1 ist eine Kühlwalze 12 angeordnet, über die das zu beschichtende Band 13 aus Polyestern von einem Abwickel 14 zum Aufwickel 15 läuft. Unter der Kühlwalze 12 sind die rotierenden Elektroden 2; 2' aus Si in einer Ebene angeordnet. In den Elektroden 2; 2' ist feststehend je ein Magnetsystem 3; 3'. Über den regelbaren Gaseinlaß 7 wird das Prozeßgas ArO₂ eingebracht. Die Einrichtung arbeitet mit Wechselstrom im bipolaren Betrieb, den ein Sinusgenerator 16 erzeugt. Die beiden Elektroden sind aus Si und werden - wie in Fig. 1 beschrieben - wech-

selweise durch die Schalteinheit 8 an Katoden- und Anodenpotential gelegt. Der Sinusgenerator 16 arbeitet mit einer Frequenz von 100 kHz und hat eine Leistung von 50 kW, wobei der Vollwert je Elektrode 2; 2' mit 25 kW vorgegeben

5 wird. In bekannter Weise bewirkt eine Steuereinheit 17 durch Verarbeitung der Meßwerte und einer Sollwertvorgabe, daß ggf. Impulse einer Halbwelle einer Polung ausgebündet werden und die Taktfrequenz einer Halbwelle ein Fortschalten bewirkt.

Patentansprüche

1. Zerstäubungseinrichtung zum Beschichten von Substraten nach dem Magnetronprinzip durch eine Niederdruck-Glimmentladung, bestehend aus einer evakuierbaren Beschichtungskammer mit mindestens zwei Zerstäubungsquellen, die jeweils aus einer röhrenförmig ausgebildeten, um ihre Längsachse drehbaren Elektrode und einem in der Elektrode angeordneten, sich relativ zu der Elektrode bewegenden Magnetsystem mit zugehörigen Polschuhen bestehen, und mit Mitteln zur Bewegung der zu beschichtenden Substrate im gleichen Abstand zu den Elektroden durch den Zerstäubungsbereich, und aus einer steuerbaren Stromversorgungseinrichtung, einer Evakuierungseinrichtung, einem Gaseinlaß und Antriebsmitteln für die Relativbewegung der Elektroden und der Magnetsysteme, dadurch gekennzeichnet,

daß die Stromversorgungseinrichtung (8, 9; 8, 16) die Elektroden (2, 2') im gegenseitigen Wechsel als zerstäubende Katode und Anode schaltet, daß zwischen den Elektroden (2, 2') eine Streufeldblende (11) mit floatendem Potential zur Abschirmung der Elektroden (2, 2'), angeordnet ist und daß diese Streufeldblende (11) aus zwei voneinander isolierten Teilen besteht.

2. Zerstäubungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromversorgung (8, 9; 8, 16) eine Wechselstromquelle ist.

3. Zerstäubungseinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Stromversorgung (8, 9; 8, 16) eine umschaltbare Gleichstromquelle ist.

4. Zerstäubungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetsystem (3, 3') in der Elektrode (2, 2') feststehend angeordnet ist und die Elektrode (2, 2') um das Magnetsystem (3, 3') mit konstanter Geschwindigkeit rotiert.

5. Zerstäubungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Magnetsystem (3, 3') jeder Elektrode (2, 2') aus mehreren Magneten besteht, die in Längsrichtung der Elektrode (2, 2') in einer Reihe aneinander angeordnet sind und jeweils getrennte und/oder gemeinsame Polschuhe besitzen.

6. Zerstäubungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Polwechsel der Elektroden (2, 2') um mindestens den Faktor 100 höher als die Drehzahl der Elektroden (2, 2') eingestellt ist.

7. Zerstäubungseinrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Magnete des Magnetsystems (3, 3') Elektro- und/oder Permanentmagnete sind.

8. Zerstäubungseinrichtung nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen den Polschuhen des Magnetsystems (3, 3') und der Elektrode (2, 2') variabel ist.

9. Zerstäubungseinrichtung nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (2, 2') aus gleichem oder unterschiedlichem Material sind.

10. Zerstäubungseinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß auf den Elektroden (2, 2') 5 das zu zerstäubende Material auf der Abstäubungsseite aufgebracht ist.

11. Zerstäubungseinrichtung nach einer der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (2, 2') gekühlt sind. 10

12. Zerstäubungseinrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß in den Elektroden (2, 2') Kühlkanäle zum Durchlauf von Kühlwasser eingebracht sind.

13. Zerstäubungseinrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (2, 2') doppelseitig ausgebildet sind und durch den Zwischenraum Kühlwasser fließt. 15

14. Zerstäubungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß 20 in jeder Elektrode (2, 2') zwei Magnetsysteme (3, 3') sich gegenüberliegend angeordnet sind und die zu beschichtenden Substrate (6) auf zwei sich gegenüberliegenden Seiten an den Elektroden (2, 2') bewegbar angeordnet sind. 25

15. Zerstäubungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Beschichtung flexibler, insbesondere bandförmiger Substrate (13) über den Elektroden (2, 2') eine Kühlwalze (12) so angeordnet ist, daß der Abstand 30 zwischen jeder Elektrode (2, 2') und der Kühlwalze (12) im Zerstäubungsbereich gleich ist.

16. Zerstäubungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß zur reaktiven Beschichtung der Substrate (6) die Gaszuführungen (7) in der Zerstäubungszone in Substratnähe endend und regelbar angeordnet sind. 35

17. Zerstäubungseinrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Gaszuführung (7) in mehrere Bereiche aufgeteilt ist und diese Bereiche getrennt regelbar sind. 40

18. Zerstäubungseinrichtung nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß um jede Elektrode (2, 2') eine Dunkelfeldabschirmung (4, 4'), die floatendes Potential besitzt, angeordnet ist. 45

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

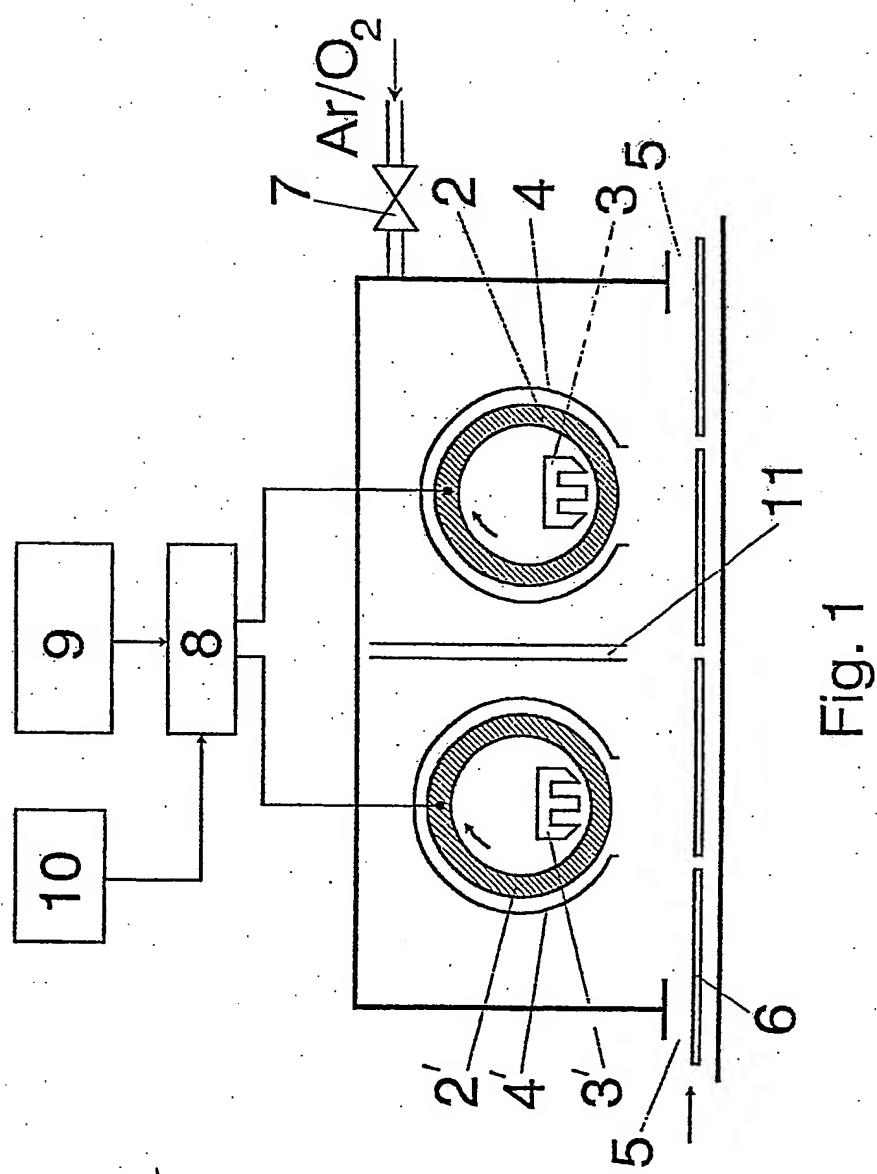


Fig. 1

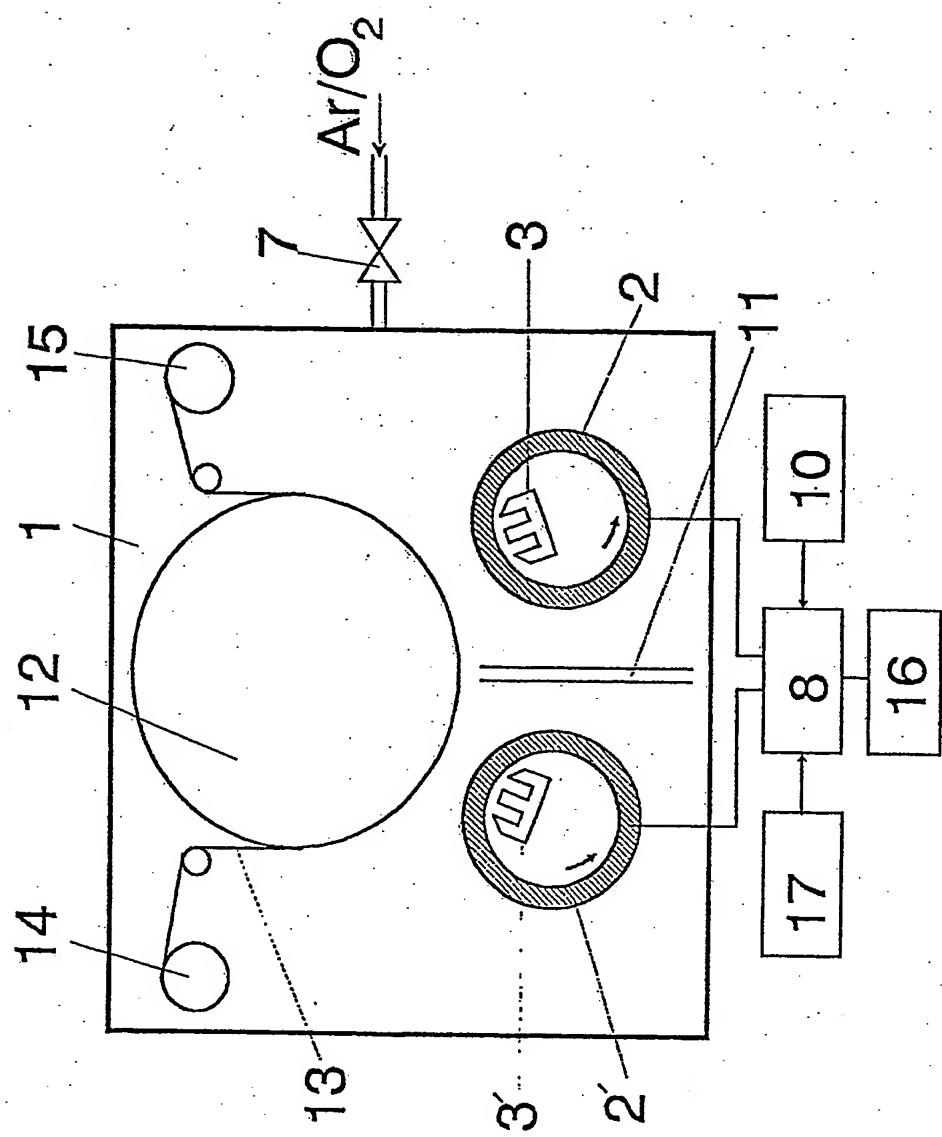


Fig. 2